

УДК 536.63; УДК 666.965

В. М. КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій

Г. М. ШАБАНОВА, д-р техн. наук, проф., професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей

Національний технічний університет «Харківський технічний інститут», м. Харків

С. О. КИСЕЛЬОВА, канд. техн. наук

Українська державна академія залізничного транспорту, м. Харків

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СИЛІКАТНОЇ ЦЕГЛИ ПРИ ЗМІНІ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ АВТОКЛАВА

*Предложена методика определения тепловой эффективности производства силикатного кирпича, при изменении температурного режима автоклава. Установлено снижение объема затрат природного газа при внедрении энергосберегающего режима автоклавной обработки силикатного кирпича для предприятия силикатных изделий.*

*Запропоновано методику визначення теплової ефективності виробництва силікатної цегли при зміні температурного режиму автоклаву. Розраховано зниження об'єму витрати природного газу при впровадженні енергозберігаючої технології силікатної цегли для підприємства силікатних виробів.*

### Вступ

У сучасних умовах надзвичайно актуальною є проблема енергозбереження, яка пов'язана з обмеженістю запасів енергоносіїв, їх високою коштовністю і екологічним навантаженням на довкілля. В Україні власні запаси енергоносіїв обмежені, ціни на експортні безперервно зростають, а ефективність використання енергоресурсів дуже низька, порівняно з розвинутими країнами. У 1994р. в Україні набув чинності закон «Про енергозбереження» [1], спрямований на розробку та впровадження енергоефективних технологій.

В Україні доля силікатної цегли в загальному виробництві цегли складає 34,6 % [2], одним з напрямків модернізації виробництва силікатної цегли є скорочення споживання енергоносіїв. Силікатну цеглу виготовляють із сировинної суміші, складовими якої є вапно, пісок і вода; сформовані вироби піддають автоклавній обробці. Загальноприйняті параметри такої обробки: тиск пари в автоклаві – від 0,8 МПа до 1,2 МПа, час витримки виробів під тиском – від 8 год до 12 год [3].

### Постановка проблеми

В ході попередніх досліджень розроблено комплексну добавку до сировинної суміші, компонентами якої є мелений доменний відвальний шлак (замість 1/2 частки вапна) та вискодисперсний відхід виробництва помольних тіл, для зволоження сировинної суміші використовували, замість води, 2 % розчин магній сульфату [4]. Із сировинної суміші з комплексною добавкою виготовлено партію одинарної рядової силікатної цегли марки 200 (ДСТУ Б В.2.7.80-98 [5]) при режимі автоклавовання: тиск 0,6 МПа, витримка виробів під тиском – 6 год. Використання добавки дозволило зменшити кількість вапна та знизити тиск автоклавної обробки і час витримки виробів під тиском, тому доцільною є оцінка зниження енерговитрат, зв'язаних зі зміною параметрів гідротермальної обробки.

**Метою даного дослідження** було надання оцінки теплової ефективності виробництва силікатної цегли при зміні режиму автоклавної обробки загальноприйнятих параметрів 0,8 МПа – 8 год до енергозберігаючих параметрів 0,6 МПа – 6 год.

### Основний зміст дослідження

В даному техніко-економічному розрахунку визначено очікуваний економічний ефект від впровадження енергозберігаючої технології силікатної цегли, на прикладі підприємства по

виробництву силікатних виробів, для цеху з 9 прохідними автоклавами типу АП 2 × 19; загрузка автоклаву здійснюється 17 вагонетками; пару постачає котельня з котлом; для виготовлення пари застосовують природний газ.

Зниження температури насиченої пари в автоклаві приблизно на 10 0С (табл. 1), при зміні базового режиму на енергозберігаючий, пов'язане зі зміною кількості теплоти, що витрачається в котельному агрегаті на виготовлення пари при зниженому тиску та зі зменшенням витрати пари, порівняно з базовим варіантом. Одночасно, скорочується загальний час підйому температури на 0,5 год і час випуску пари – на 0,5 год, а час витримки виробів під тиском знижується на 2 год – з 6 год до 8 год.

Зниження параметрів автоклавування пояснюється прискоренням формування структури зв'язуючої маси силікатної цегли, що містить комплексну добавку, за рахунок прискорення процесів кристалізації фаз низькоосновних гідросилікатів кальцію, що забезпечує виробам, виготовленим за енергозберігаючим режимом, високих експлуатаційних властивостей.

Таблиця 1  
Параметри виробництва силікатної цегли при різних режимах автоклавування

Параметр	Режим автоклавування	
	базовий	енергозберіг аючий
Загальна загрузка силікатною цеглою 1 автоклава, $E$ , <i>шт.</i>	12900	12900
Загальна кількість годин роботи автоклаву за рік, $T_p$ , <i>год/р.</i>	8400	8400
Теплота згоряння природного газу, $Q_H^3$ , $\text{МДж/м}^3$	35,62	35,62
Питома витрата теплоти на виготовлення 1000 <i>шт.</i> силікатної цегли, $q_{\text{питБ}}$ , $\text{кДж/1000 шт./}$	$1,7179 \cdot 10^6$	–
Тиск насиченої пари (надлишковий), $\text{МПа}$	0,9	0,7
Температура силікатної цегли в автоклаві перед впуском пари, $t_n$ , $^{\circ}\text{C}$	20	20
Температура насиченої водяної пари в автоклаві при базовому режимі, $t_k$ , $^{\circ}\text{C}$	175,35	164,96
Загальний час циклу, включно із завантаженням, запарюванням, вивантаженням, $T_y$ , <i>год</i>	12	9
Час завантаження, <i>год</i>	0,5	0,5
Час вивантаження, <i>год</i>	0,5	0,5
Час витримки під тиском, <i>год</i>	8,0	6,0
Підйом тиску, <i>год</i>	1,5	1,0
Випуск пари, <i>год</i>	1,5	1,0

**Примітка.** Для розрахунків прийнято ціну на газ 551 \$ США за 1000  $\text{м}^3$  газу, курс долару – 1\$ = 8,1 грн (за даними на серпень 2011 р).

Для розрахунку теплової ефективності виробництва силікатної цегли при змін температурного режиму автоклава використано методику на основі [6]:

1. Продуктивність одного автоклава, складає, *шт./р.*:

$$\Pi = \frac{E \cdot T_p}{T_y}, \quad (1)$$

де  $E$  – загальне завантаження автоклаву, *шт.*;

$T_p$  – загальна кількість годин роботи автоклаву за рік, *год/р.*;

$T_{\text{ц}}$  – загальний час робочого циклу одного автоклава, *год.*

2. Збільшення продуктивності одного автоклава за рік складає, *шт./р.*:

$$\Delta\Pi = \Pi_B - \Pi_{\text{ЕЗР}} , \quad (2)$$

де  $\Pi_B$  – продуктивність одного автоклава для базового циклу роботи, *шт./р.*;

$\Pi_{\text{ЕЗР}}$  – продуктивність одного автоклава, для енергозберігаючого режиму, *шт./р.*

3. Кількість теплоти, витраченої на нагрів силікатної цегли під час підйому тиску, знаходимо з рівняння теплового балансу, *кДж/1000 шт.*:

$$Q = M_{\text{цг}} \cdot C_p (t_k - t_n) , \quad (3)$$

де  $M_{\text{цг}}$  – маса силікатної цегли, *кг*;

$C_p$  – питома теплоємність силікатної цегли, *кДж/кг·К*;

$t_k$  – температура насиченої пари в автоклаві при виході на режим ізотермічної витримки, *°C*;

$t_n$  – температура силікатної цегли в автоклаві перед впуском пари, *°C*

4. Відносну величину зниження кількості теплоти на нагрів силікатної цегли (при однаковій масі цегли, без урахування зміни теплоємності, за умови, що початкова температура силікатної цегли однакова для базового і енергозберігаючого режимів автоклавування) визначаємо за формулою:

$$\Delta q_1 = \frac{Q_2}{Q_1} \approx \frac{t_{k2} - t_n}{t_{k1} - t_n} , \quad (4)$$

де  $Q_2$  – кількість теплоти, витраченої на нагрів силікатної цегли під час підйому тиску, при енергозберігаючому режимі, *кДж/1000 шт.*;

$Q_1$  – кількість теплоти, витраченої на нагрів силікатної цегли під час підйому тиску, при базовому режимі, *кДж/1000 шт.*

5. Відносне зниження питомої витрати теплоти за рахунок скорочення часу підйому температури складає:

$$\Delta q_2 = \frac{T_{n1}}{T_{n2}} , \quad (5)$$

де  $T_{n1}$ ,  $T_{n2}$  – час підйому температури в автоклаві при базовому і енергозберігаючому режимах автоклавування, відповідно, *год.*

6. Відносне зниження питомої витрати теплоти за рахунок скорочення часу витримки силікатної цегли під тиском, за умови подання 10% витрати пари на підтримку температури в автоклаві, розраховуємо за співвідношенням:

$$\Delta q_3 = 0,1 \frac{T_{\text{г}2}}{T_{\text{г}1}} , \quad (6)$$

де  $T_{\text{г}1}$ ,  $T_{\text{г}2}$  – час витримки силікатної цегли під тиском при базовому і енергозберігаючому режимах автоклавування, відповідно, *год.*

7. Загальна відносна питома економія витрати теплоти, з урахуванням відносного зниження питомих витрат теплоти на нагрів силікатної цегли, за рахунок скорочення часу підйому температури та за рахунок скорочення часу витримки цегли під тиском, складає:

$$\Delta q_{заг} = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3. \quad (7)$$

8. Питомі витрати теплоти по енергозберігаючому режиму автоклавовання, розраховуємо за формулою,  $\kappaДж/1000 шт.$ :

$$\Delta q_{нит_{ЕЗР}} = \Delta_{заг} \cdot q_{нит_B}, \quad (8)$$

де  $q_{нит_B}$  – величина питомої витрати теплоти на виготовлення 1000 шт. силікатної цегли для базового режиму автоклавовання,  $\kappaДж/1000 шт.$

9. Виходячи з рівняння балансу теплоти для котла

$$B \cdot Q_n^3 \cdot \eta_k = Q_n, \quad (9)$$

визначаємо витрату палива,  $м^3$ :

$$B = \frac{Q_n}{Q_n^3 \cdot \eta_k}, \quad (10)$$

де  $B$  – питома витрата палива,  $м^3/1000 шт.$ ;

$Q_n^3$  – теплота згоряння природного газу,  $10^3 \cdot \kappaДж/м^3$ ;

$\eta_k$  – коефіцієнт корисної дії котла, який дорівнює 0,9.

$Q_n$  – кількість теплоти, витраченої на виробництво силікатної цегли,  $\kappaДж$ ,

$$Q_n = q_i \cdot \Pi_i \quad (11)$$

де  $q_i$  – питома витрата теплоти на виробництво силікатної цегли при  $i$ -тому режимі автоклавовання,  $\kappaДж$ ;

$\Pi_i$  – продуктивність автоклаву,  $шт./р.$

10. Економію питомих витрат теплоти при виробництві силікатної цегли за енергозберігаючим режимом автоклавовання визначаємо за формулою,  $\kappaДж/1000 шт.$ :

$$\Delta q_{нит} = \Delta q_{нит_B} - \Delta q_{нит_{ЕЗР}}. \quad (12)$$

11. Питома економія природного газу при виробництві силікатної цегли по енергозберігаючому режиму виражається формулою,  $м^3/1000 шт.$ :

$$B_{нит_{ЕЗР}} = \frac{\Delta q_{нит}}{Q_n^3 \cdot \eta_k}, \quad (13)$$

12. Загальну річну економію газу з розрахунку на один автоклав визначаємо за формулою,  $м^3/р.$ :

$$B_{ЕЗР} = B_{нит_{ЕЗР}} \cdot \Pi_{ЕЗР} / 1000, \quad (14)$$

13. Сумарна річна економія об'єму природного газу при роботі 9 автоклавів визначається за формулою,  $м^3/р.$ :

$$B_{Р_{ЕЗР}} = B_{ЕЗР} \cdot N \quad (15)$$

де  $N$  – кількість автоклавів, шт.

14. Річну економію коштів для підприємства силікатних виробів за рахунок впровадження розробленої енергозберігаючої технології силікатної цегли, визначаємо з формули, грн/р.:

$$E = C \cdot N / 1000 , \quad (16)$$

де  $C$  – ціна газу за  $1000 \text{ м}^3$ , грн.

Результати розрахунків теплової ефективності виробництва силікатної цегли при зміні температурного режиму автоклава представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків теплової ефективності виробництва силікатної цегли

№ №	Розрахункова величина	Результат розрахунку
1	2	3
1	Продуктивність одного автоклава для базового циклу роботи, $P_B$ ,	$9030 \cdot 10^3$
2	Продуктивність одного автоклава, для енергозберігаючого режиму, $P_{EЗР}$ , шт./р.	$12040 \cdot 10^3$
3	Збільшення продуктивності одного автоклава за рік складає, $\Delta P$ , шт./р.	$3010 \cdot 10^3$
4	Відносна величина зниження кількості теплоти на нагрів силікатної цегли, $\Delta q_1$	0,936
5	Відносне зниження питомої витрати теплоти за рахунок скорочення часу підйому температури, $\Delta q_2$	0,667
6	Відносне зниження питомої витрати теплоти за рахунок скорочення часу витримки силікатної цегли під тиском, $\Delta q_3$	0,075
7	Загальна відносна питома економія витрати теплоти складає, $\Delta q_{заг}$	0,422
8	Питома витрата теплоти за енергозберігаючим режимом автоклавовування, $\Delta q_{питEЗР}$ , кДж/1000 шт.	$0,7250 \cdot 10^6$
9	Економія питомих витрат теплоти при виробництві силікатної цегли за енергозберігаючим режимом автоклавовування, $\Delta q_{пит}$ ,	0,9929
10	Питома економія природного газу при виробництві силікатної цегли по енергозберігаючому режиму, $B_{питEЗР}$ , $\text{м}^3/1000$ шт.	30,97
11	Загальна річна економія газу з розрахунку на один автоклав, $B_{EЗР}$ ,	372878
12	Сумарна річна економія об'єму природного газу при роботі 9 автоклавів, $B_{PEЗР}$ , $\text{м}^3/р.$	3355902
13	Річна економія коштів за рахунок впровадження розробленої енергозберігаючої технології силікатної цегли, $E$ , грн/р.	$14,978 \cdot 10^6$

### Висновок

Результати розрахунків оцінки теплової ефективності виробництва силікатної цегли при зміні режиму автоклавовування з загальноприйнятого 0,8 МПа – 8 год на енергозберігаючий 0,6 МПа – 6 год, показали ефективність від впровадження розробленої технології силікатної цегли:

- продуктивність одного автоклаву збільшується на 3,01 млн. шт. силікатної цегли за рік;
- загальна річна економія об'єму природного газу на один автоклав становить 372,879

тис. м<sup>3</sup>/р.;

– загальна річна економія об'єму природного газу для цеху силікатних виробів, в якому встановлено 9 автоклавів, становить 3355,902 тис. м<sup>3</sup>/р.;

– економічний ефект за рік, за рахунок зменшення витрат за спожитий природний газ, становить 14,978 млн грн/р.

Важливе значення також має екологічний аспект від зниження теплового забруднення, за рахунок зменшення викидів продуктів згоряння із котла і викидів пари в атмосферу. При впровадженні розробленої енергозберігаючої технології; поряд з цим, буде мати місце і додаткове зниження втрат теплоти в довкілля з зовнішньої поверхні агрегату, при зменшенні температури в автоклаві.

### Список литературы

1. Закон України «Про енергозбереження»: за станом на 1 липня 1994 р. // Відомості Верховної Ради України (ВВРУ). – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 1994. – № 30. – ст. 283.
2. Шавкат Б. Последний кирпич / Б. Шавкат // Бизнес. – 2006. – № 35. – С. 106 – 109.
3. Горчаков Г. И. Строительные материалы: учебн. для студ. строит. специальн. высш. учебн. завед. / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
4. Кисельова С. О. Енерго- і ресурсозберігаюча технологія силікатної цегли: автореф. дис.... канд. техн. наук: спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» / Кисельова Світлана Олександрівна; Українська держ. акад. залізничного транспорту. – Харків, 2011. – 21 с.
5. Будівельні матеріали. Цегла і камені силікатні. ТУ: ДСТУ Б В.2.7.-80-98. – [Чинний від 1999-03-01]. – К.: Держбуд України, 1998. – 28 с. – (Національний стандарт України).
6. Кошельник В. М. Основи проектування теплотехнічних установок підприємств промисловості будівельних матеріалів: Навч. посібн. / В. М. Кошельник, Ю. В. Шульгін, О. В. Кошельник, В. В. Соловей: під ред. В. М. Кошельника. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – 202 с.

### DETERMINATION OF THERMAL EFFICIENCY OF PRODUCTION OF SILICATE BRICK IS AT CHANGE OF TEMPERATURE CONDITION OF AUTOCLAVE

V. M. KOSHELNIK, Dr. Tech. Scie., Prof.  
G. M. SHABANOVA, Dr. Tech. Scie., Prof.  
S. O. KISELEVA, Cand. Tech. Scie.

*The method of determination of thermal efficiency of production of silicate brick is offered, at the change of temperature condition of autoclave. The decline of volume of expense of natural gas is expected at introduction of energysaving technology of silicate brick for the enterprise of silicate wares.*

Поступила в редакцию 06.04 2012 г.